

先端研究助成基金助成金(最先端・次世代研究開発支援プログラム) 実績報告書

本様式の内容は一般に公表されます

研究課題名	光合成電子伝達の最適化による植物バイオマス増進の技術基盤研究
研究機関・ 部局・職名	埼玉大学・大学院理工学研究科・准教授
氏名	川合真紀

1. 研究実施期間 平成23年2月10日～平成26年3月31日

2. 収支の状況

(単位:円)

	交付決定額	交付を受けた額	利息等収入額	収入額合計	執行額	未執行額	既返還額
直接経費	104,000,000	104,000,000	0	104,000,000	104,000,000	0	0
間接経費	31,200,000	31,200,000	0	31,200,000	31,200,000	0	0
合計	135,200,000	135,200,000	0	135,200,000	135,200,000	0	0

3. 執行額内訳

(単位:円)

費目	平成22年度	平成23年度	平成24年度	平成25年度	合計
物品費	200,000	35,966,214	5,380,834	9,407,015	50,954,063
旅費	0	972,500	963,220	2,154,110	4,089,830
謝金・人件費等	0	12,026,048	13,276,956	20,129,169	45,432,173
その他	0	566,813	1,055,284	1,901,837	3,523,934
直接経費計	200,000	49,531,575	20,676,294	33,592,131	104,000,000
間接経費計	60,000	14,880,000	9,210,000	7,050,000	31,200,000
合計	260,000	64,411,575	29,886,294	40,642,131	135,200,000

4. 主な購入物品(1品又は1組若しくは1式の価格が50万円以上のもの)

物品名	仕様・型・性能等	数量	単価 (単位:円)	金額 (単位:円)	納入 年月日	設置研究機関名
CO2インキュベーター	NKsystem・ NC-410HC	1	2,604,472	2,604,472	2011/8/26	埼玉大学
高速液体クロマトグラフ質量分析装置一式	島津・LCMS- 8030	1	23,940,000	23,940,000	2011/9/30	埼玉大学
日立卓上顕微鏡	日立TM-	1	2,625,000	2,625,000	2011/9/28	埼玉大学
ラボ用オートクレーブ	トミー精工・ LBS-325	1	516,600	516,600	2011/10/18	埼玉大学
Nanovue Plus with Printer	GEヘルスケ ア・28-9560- 58	1	1,428,000	1,428,000	2012/1/17	埼玉大学
オートスチル	ヤマト科学・ WA200	1	548,604	548,604	2012/1/31	埼玉大学
分光検出器	島津・RF-2 OAXs	1	1,014,000	1,014,000	2012/8/30	埼玉大学
紫外可視分光光度計	Perkin Elmer Lambda25	1	2,310,000	2,310,000	2012/12/21	埼玉大学
光合成蒸散測定装置	ADC Bioscientific Lcpro-SD	1	3,940,000	3,940,000	2013/12/13	埼玉大学
AquaPen-C	日本環境計測 EM-AP-C 100	1	610,000	610,000	2013/12/10	埼玉大学

5. 研究成果の概要

細胞内の酸化還元補酵素であるNAD類の代謝改変をおこなったイネ及びシロイヌナズナ数系統を作出した。その結果、葉緑体内のNADP量を増やす代謝改変をおこなった系統では二酸化炭素固定量の増加と生育促進が見られた。すなわち、葉緑体内で光エネルギーに由来する還元力を受け取る物質であるNADPを増加させる事が、植物の光合成や生育に重要であることが明らかとなった。またこの原因が、細胞内の酸化還元状態の変化を反映したレッドックス制御によることが明らかとなった。得られた知見を作物に用いる事により、将来的には、作物の二酸化炭素吸収量を増加させ、その収量を増加させることが可能になると考えられる。

課題番号	GS004
------	-------

先端研究助成基金助成金(最先端・次世代研究開発支援プログラム) 研究成果報告書

本様式の内容は一般に公表されます

研究課題名 (下段英語表記)	光合成電子伝達の最適化による植物バイオマス増進の技術基盤研究
	Research on plant biomass improvement by optimization of photosynthetic electron transport
研究機関・部局・ 職名 (下段英語表記)	埼玉大学・大学院理工学研究科・准教授
	Saitama University, Graduate School of Science and Engineering
氏名 (下段英語表記)	川合真紀
	Maki Kawai-Yamada

研究成果の概要

(和文):

酸化還元補酵素である NAD 類の代謝改変をおこなったイネ及びシロイヌナズナを作出した。葉緑体内の NADP 量を増やす代謝改変をおこなった系統では、炭素、窒素、硫黄代謝の増加と生育促進が見られた。一方、細胞質の NAD 合成酵素を高発現した系統では、呼吸と老化の促進が検出された。すなわち、葉緑体内で光に由来する還元力を受け取る物質である NADP を増加させる事が、植物の光合成や生育に重要であることが明らかとなった。またこの原因が代謝の鍵酵素のレドックス制御によることが明らかとなった。本研究から得られた知見を作物に適用することにより、作物の二酸化炭素吸収量を増加させ、その収量を増加させることに役立つと考えられる。

(英文):

We produced a number of NAD metabolism-modified rice and Arabidopsis plants. Chloroplastic NAD kinase overexpressed lines, in which NADP contents were increased, showed elevated growth and C, N and S assimilation. However the lines overexpressing cytosolic NAD synthase showed increased respiration and senescence. These data indicate that the increased NADP(H) pool in chloroplast is important to improve plant photosynthesis and metabolism, because NADP receives reducing power from light-energy in chloroplast. The redox regulation of several metabolic key-enzymes caused the metabolic change in the transgenic plants. Findings obtained from this research are useful to improve crop yields and carbon dioxide uptake of plants.

1. 執行金額 135,200,000 円
(うち、直接経費 104,000,000 円、間接経費 31,200,000 円)

2. 研究実施期間 平成23年2月10日～平成26年3月31日

3. 研究目的

近年、大気中の二酸化炭素濃度の上昇が地球規模の問題として取り上げられ、二酸化炭素を吸収して物質生産を行う植物の光合成機能が注目を集めている。植物は、光エネルギーを化学エネルギーに変換し、これを利用して無機物質である二酸化炭素を有機物に変換することができる。この過程が光合成である。植物は適当な光、水分、温度などの条件が整っていれば、光合成電子伝達により無制限のエネルギーを生み出し、これを物質生産に利用することが理論的には可能である。しかしながら、実際に無尽蔵に植物の物質生産能力を増大させることは難しい。そこにはいくつかの律速要因が存在し、植物のバイオマス増大のブレーキとなっている。そうした律速要因の1つと考えられているのが、光エネルギーを化学エネルギーに変換する光合成電子伝達系である。

植物が光合成によって二酸化炭素を固定する反応は、光のエネルギーによって生物エネルギー(ATP)と還元力(NADPH)を生成する過程(光リン酸化)と、二酸化炭素をエネルギーと還元力によって有機物に変換する過程(炭酸固定)とに大きく分けることができる。前者ではまず、光合成電子伝達系において光エネルギーを用いて電子を励起し、NADPHを得ると共に、チラコイド膜の内外で生じるプロトン勾配を用いてATPを合成する。生物反応ではATPがエネルギー源として使われる。一方、還元力として用いられる分子がNADPHである。NADPHは自らが酸化してNADPとなる過程で、相手を還元することができる。また、光合成において光エネルギーを化学エネルギーへと変換する過程で、余剰となったエネルギーは熱として放出される。光合成電子伝達の場合は、光合成の構成要素を破壊してしまうかもしれない高エネルギー化合物をやり取りする場であり、余剰の電子の発生は非常に危険である。実際、植物には強光ストレスと呼ばれる環境ストレスが存在し、その際には光合成電子伝達系の構成要素が活性酸素によりダメージを受け、植物の成長は著しく阻害される。

我々は、本研究課題を実施する数年前より活性酸素種に対する植物の応答に注目して研究をおこなってきた。酸化ストレスを受けた植物細胞はプログラム細胞死を引き起こし、生存可能な部位へ細胞の構成要素を回収し再利用するという個体としての生存戦略を有している。こうした研究の過程で、細胞内の酸化還元カプラーを構成するNAD(P)(H)の代謝系を改変し、化学エネルギーとして植物が利用可能な物質質量を変化させることによって、植物の環境適応性が変化することを見いだした。さらには、近年の代謝物解析ツールの革新にともない、代謝改変植物における主要物質生産系の変化を植物体レベルで統合して検出することが可能となり、葉緑体の還元カプラーの増大が植物の光合成能力亢進の鍵となっているという確証を得た。

本研究では、葉緑体の代謝改変による光合成電子伝達系の最適化により、植物の二酸化炭素

吸収能力の増大を試みる。また、固定された二酸化炭素が植物バイオマス増進に結びつくことによる、可食部、非食部への炭素分配についても迫る。さらに加えて、葉緑体還元カプールのさらなる増進を目指した代謝改変研究も試みる。加えて、熱放散を制御する因子の同定を試みる。これにより、高二酸化炭素吸収・高バイオマス生産能力を有する植物の分子育種のための分子基盤を築く。

4. 研究計画・方法

先行研究において、葉緑体局在シグナルを有するシロイヌナズナ NAD キナーゼ遺伝子をイネ、及びシロイヌナズナで過剰発現させた形質転換植物を作出し、これらの光合成能力の増大と成育増進を報告した。しかしながら、これらの系統における代謝増進の分子メカニズムは不明であり、細胞質の NAD 代謝の改変による効果や、主要代謝系の変動についての知見もえられていなかった。そこで本研究では、NAD キナーゼのさらに上流の代謝酵素 (NAD 合成酵素) の同時過剰発現体の作出を試みるとともに、細胞質における NAD 合成酵素の高発現系統の代謝変動解析、代謝改変植物体の成長、収量解析、代謝産物解析、遺伝子発現変化解析を行い、これらを統合する事により、葉緑体の代謝改変が植物の物質生産能力に与える影響を評価した。さらに、植物の光合成能力・物質生産能力の向上のための手法の確立を試みた。すなわち、植物バイオマス生産性向上の鍵となる光合成電子伝達系の最適化をはかるため、代謝工学による葉緑体内還元カプールの増大を試みた。さらには、これらの代謝改変によって引き起こされる物質生産能力の変化を、メタボローム、トランスクリプトームの手法により明らかにし、光合成電子伝達の改変が植物の物質生産能力に及ぼす影響を総合的に評価した。

本計画の目指す光合成電子伝達の最適化による植物物質生産性の増進のための標的は、葉緑体還元力供給の向上に結びつく NAD (P) の代謝改変、および熱放散の制御因子の同定による還元力供給装置の維持である。NAD 代謝物は生物にとって必須の化合物であり、電子輸送体として酸化還元反応の補酵素として機能するなど、細胞内の多岐の現象に関わることが報告されているが、植物における生理生化学的な役割についての解明は進んでいない。そこで本研究では、NAD 生合成・代謝を介した植物発育制御を試みるとともに、過剰な電子からの光合成電子伝達系の防御にかかわる熱放散を制御する因子について複数のイネ系統を用いた遺伝学的解析をおこない、植物の物質生産能力の向上に有用な分子メカニズム研究もおこなった。

現在、地球レベルで二酸化炭素濃度の上昇が危惧されているが、高二酸化炭素環境下の植物は、光合成の律速が二酸化炭素濃度から同化反応に対するエネルギー供給にシフトする。そのため、今後の地球環境に最も適合した好二酸化炭素植物の創出には、還元力供給の向上、もしくは外的環境による還元力供給装置 (光化学複合体) 障害の緩和が効果的であると考えられる。この 2 つの標的に関して、前者は還元力運搬体である NAD (P) の代謝改変、後者は過剰な電子から光合成電子伝達装置の防御に関わる熱放散に注目して研究を進める。これにより、光合成電子伝達の最適化による植物バイオマス増進の技術基盤の確立を目指した。

5. 研究成果・波及効果

NAD キナーゼ高発現シロイヌナズナ系統(カリフラワーモザイクウィルスの 35S プロモーターに AtNADK2 遺伝子を連結)、および高発現イネ系統(ユビキチンプロモーターにより AtNADK2 を発現)を対象とした研究から、葉緑体内の NADP(H)量を増やす代謝改変が、植物の光合成能力、物質生産能力に正の効果をもつことを示してきた。この分子メカニズムを解明するため、さらに葉緑体内の NADP(H)量を増加させる代謝改変に取り組むとともに、それらの代謝比較を行う事によって、細胞質の NAD 合成系の活性化が、呼吸を介した物質分解によるエネルギー獲得の方向に向く事を発見した。また、これまでほとんど解析が行われてこなかったイネの内生の NAD キナーゼ遺伝子の発現解析をおこない、本遺伝子が本来は夜間に発現量が増加する日周変動性を示す事を明らかにした。一方、NADK2 高発現体ではユビキチンプロモーターを用いている事から、外来遺伝子は、細胞内のストレス状況に応じて発現量を上昇させる発現パターンを示していると考えた。そこで、リアルタイム PCRにより外来の AtNADK 遺伝子の発現量を調べた結果、昼間から夕方にかけて、導入遺伝子の発現量が増加していることが明らかとなった。本来の内生遺伝子の発現量が低い昼間に、葉緑体内の NAD レドックスが変化することが本系統における代謝増進の一因となっていることが強く示唆された。イネでは午後になると光合成活性が低下する「昼寝」と呼ばれる現象が知られている。本形質転換体では、まさにこの「昼寝」の時間帯の代謝変化により、成長が増進した可能性が考えられる。また、光合成のカルビンサイクルの酵素の中にはレドックス制御を受けることが知られている酵素が複数知られている。これらの酵素の活性化状態を、抽出液中の還元剤の有無によって比較した結果、代謝亢進が見られた葉緑体局在性 NAD キナーゼ高発現系統では、細胞内の酸化還元状態の変化により、酵素の活性化状態が高いことが明らかとなり、発現制御の変化を介さず、鍵酵素のレドックス制御により、NAD キナーゼ高発現系統の代謝増進がもたらされている事が強く示唆された。すなわち、葉緑体内の NADP(H)プールを増大させることが光合成機能の増強のために効果的であることを改めて示す結果となった。

また、NAD キナーゼ高発現系統では、植物が使用できる光エネルギーの量が増加していることが既に明らかになっている。低温ストレス下で強い光が植物にあたると、植物は余分な光エネルギーが光合成装置に障害を与えないよう、余剰エネルギーを熱として排出する熱放散の機構を有している。シロイヌナズナでは光化学系 II を構成するタンパク質の一つである PsbS が熱放散を制御する因子として知られている。そこで、イネで PsbS を過剰発現させた結果、熱放散が増加することが明らかとなった。一方、NAD キナーゼ高発現系統では、この熱放散の数値が低下しており、その分、利用可能な光エネルギーが増大していると考えられた。今後、これらの因子を複合的に扱う事が植物のバイオマス生産性を最大限に引き出す為には必要であると考えられる。

また、さらなる NAD 代謝改変の試みとして、NAD 合成の上流の2つの酵素(NADS および NMNAT)に葉緑体移行配列を付加して高発現した系統の作出とその解析をおこなった。ef1 プロモーター(恒常的に高発現)、および Cab プロモーター(光依存的に高発現)で NAD 合成遺伝子群を発現させた両系統(イネ、シロイヌナズナ)とも、植物体は正常に生育し、著しい形態異常や不稔性などは見られなかった。形質転換イネ系統を用いた光合成パラメーターの測定では、Fv/Fm 値は約 0.8 と変化してい

なかったが、余剰なエネルギーを廃棄する熱放散の数値(NPQ)が、コントロールで 1.7~1.8 に対し、ef1 プロモーター系統では 1.8~2.0 と若干上昇していた。光化学系IIを通る電子伝達の実行量子収率(Φ_{II})については、ef1 系統では低下している個体が多かった一方で、Cab プロモーター系統では、増加しているものが複数得られ、光依存的にNAD合成経路を働かせることにより、光合成電子伝達系での電子の利用効率が上昇している可能性が示された。NAD 合成経路を発現させるタイミングの違いがこれらの差異を生み

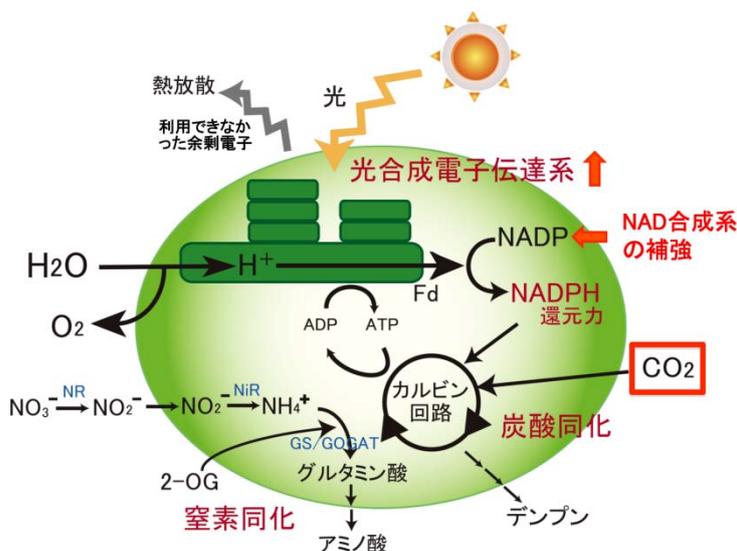


図:本研究で取り組んだ植物代謝の改変の概要。葉緑体内でNADP量を増やす代謝改変により、光から受ける還元力(NADPH)とATP量が増加し、二酸化固定に関わる炭酸同化と、これと連動する窒素同化を向上させる。

出したと考えられる。今後、成長・収量調査を含め解析を進めて行く必要がある。

また、NAD キナーゼの高発現による代謝増進の分子機構を明らかにするため、NAD キナーゼ高発現シロイヌナズナ系統のマイクロアレイ解析を行った結果、硫黄欠乏時に発現上昇する機能未知の遺伝子の発現量の増加が明らかとなった。そこで、NAD キナーゼ高発現系統を、硫酸を添加した培地で育成した結果、コントロール系統よりも生育が向上した。また、NADK2 過剰発現系統は高濃度硫酸耐性を示した。また、硫黄代謝産物のひとつであるグルタチオンの内生量が増加していることも示された。これらの結果から、NADK キナーゼの高発現体では、炭素および窒素の代謝に加えて硫黄代謝も同時に活性化されていることが明らかとなった。これらの生育条件を考慮することにより、NADK2 高発現系統の生育をさらに亢進させることができることがわかった。

以上の研究を通して、植物の物質生産性、成長を向上させるためには、葉緑体内の酸化還元補酵素代謝の改変が有効であることを明らかにした。NADP(H)プールが増大した植物では、光合成電子伝達で利用できる光エネルギー量が增大したと考えられ、その結果、増加した ATP、NADPH がカルビン回路の駆動に寄与し、さらには窒素や硫黄といった主要代謝物全体のフローを増加させたと考えられる。また、本研究では、葉緑体内で発生する余剰な電子を熱として放出する熱放散にも着目し、その制御因子である P_{sbS} についても研究をおこなった。本因子を過剰発現させたイネでは熱放散の数値が増加することを示した。一方 NAD キナーゼを高発現させた系統では熱放散の数値が低下することから、葉緑体内で扱える電子総量の制御の観点から、こうした因子を複合的に扱って行くことが、さらなる光合成電子伝達の高効率化と作物の分子育種のために有用であると考えられる。本研

究の成果は、今後の作物への展開に向けた分子育種の基盤となるものであり、得られた新規代謝改変植物の詳細な解析も含め、今後、さらなる研究の推進が必要である。

また、「国民との科学・技術対話」の推進に関しては、各年度において植物代謝工学に関するトピックスや、本研究の成果について一般市民や高校生を対象として講演会や見学会を設け、情報発信を行った。

6. 研究発表等

雑誌論文 計 23 件	<p>(掲載済み一査読有り) 計 21 件</p> <p>Ishikawa, T., Watanabe, M., Nagano, N., Kawai-Yamada, M., Lam, E. (2011) Bax Inhibitor-1: A highly conserved endoplasmic reticulum-resident cell death suppressor, <i>Cell Death and Differentiation</i>, 18, 1271-1278, ISSN1350-9047.</p> <p>Kasajima, I., Ebana, K., Yamamoto, T., Takahara, K., Yano, M., Kawai-Yamada, M., Uchimiya, H. (2011) Molecular distinction in genetic regulation of nonphotochemical quenching in rice. <i>PNAS</i>, 108, 13835-13840, ISSN 1091-6490.</p> <p>Miyagi, A., Takahara, K., Kasajima, I., Takahashi, H., Kawai-Yamada, M., Uchimiya, H. (2011) Fate of ¹³C in metabolic pathways and effects of high CO₂ on the alteration of metabolites in <i>Rumex obtusifolius</i> L. <i>Metabolomics</i>, 7, 524-535, ISSN1573-3882.</p> <p>Watanabe, M., Miyagi, A., Nagano, M., Kawai-Yamada, M., Imai, H. (2011) Characterization of glucosylceramides in the polygonaceae, <i>Rumex obtusifolius</i> L. injurious weed. <i>Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry</i>, 75, 877-881, ISSN1347-6947</p> <p>Nagano, M., Takahara, K., Fujimoto, M., Tsutsumi, N., Uchimiya, H., Kawai-Yamada, M. (2012) Arabidopsis sphingolipid fatty acid 2-hydroxylases (AtFAH1 and AtFAH2) are functionally differentiated in fatty acid 2-hydroxylation and stress responses. <i>Plant Physiology</i>, 159, 1138-1148. ISSN0032-0889</p> <p>Nagano, M., Uchimiya, H., Kawai-Yamada, M. (2012) Plant sphingolipid fatty acid 2-hydroxylases have unique characters unlike their animal and fungus counterparts. <i>Plant Signaling & Behavior</i>, 7, 1388-1392. ISSN1559-2316</p> <p>Hashida, H., Takahashi, H., Takahara, K., Kawai-Yamada, M., Kitazaki, K., Shoji, K., Goto, F., Yoshihara, T., Uchimiya, H. (2012) NAD⁺ accumulation during pollen maturation in <i>Arabidopsis</i> regulating onset of germination. <i>Molecular Plant</i>, 6, 216-225. ISSN1674-2052</p> <p>Nishimura, Y., Shikanai, T., Nakamura, S., Kawai-Yamada, M., Uchimiya, H. (2012) The Gsp1 triggers sexual developmental program including inheritance of chloroplast DNA and mitochondrial DNA in <i>Chlamydomonas reinhardtii</i>. <i>Plant Cell</i>, 24, 2401-2414. ISSN 1040- 4651</p> <p>Nakasone, A., Fujiwara, M., Fukao, Y., Biswas K.K., Rahman, A., Kawai-Yamada, M., Narumi, I., Uchimiya, H., Oono, Y. (2012) SMALL ACIDIC PROTEIN 1 acts with RUB modification components, the COP9 signalosome and AXR1, to regulate growth and development of <i>Arabidopsis Thaliana</i>. <i>Plant Physiology</i>, 160, 93-105. ISSN0032-0889</p> <p>Hachiya, T., Watanabe, C.K., Fujimoto, M., Ishikawa, T., Takahara, K., Kawai-Yamada, M., Uchimiya, H., Uesono, Y., Terashima, I., Noguchi,</p>
----------------	---

	<p>K., (2012) Nitrate addition alleviates ammonium toxicity without lessening ammonium accumulation, organic acid depletion and inorganic aation depletion in <i>Arabidopsis thaliana</i> Shoots. <i>Plant and Cell Phys.</i>, 53, 577-591. ISSN 0032-0781</p> <p>Miyagi, A., Uchimiya, M., Kawai-Yamada, M., Uchimiya, H. (2013) Impact of aluminium stress on oxalate and other metabolites in <i>Rumex obtusifolius</i>. <i>Weed Research</i>, 53, 30-41. ISSN1939-7291</p> <p>Hashida, S., Takahashi, H., Takahara, K., Kawai-Yamada, M., Kitazaki, K., Shoji, K. Goto, F., Yoshihara, T., Uchimiya, H. (2013) NAD⁺ accumulation during pollen maturation in <i>Arabidopsis</i> regulating onset of germination. <i>Molecular Plant</i>, 6, 216-225, ISSN 1674-2052.</p> <p>Miyagi, A., Uchimiya, M., Kawai-Yamada, M., Uchimiya, H. (2013) An antagonist treatment in combination with tracer experiments revealed isocitrate pathway dominant to oxalate biosynthesis in <i>Rumex obtusifolius</i> L. <i>Metabolomics</i>, 9, 590-598, ISSN1573-3882.</p> <p>Hashida, S., Kawai-Yamada, M., Uchimiya, H. (2013) NAD⁺ accumulation as a metabolic off switch for orthodox pollen. <i>Plant signaling and Behavior</i> 8, e23937, ISSN15592316.</p> <p>Miyagi, A., Kawai-Yamada, M., Uchimiya, M., Ojima, N., Suzuki, K., Uchimiya, H. (2013) Metabolome analysis of food-chain between plants and insects. <i>Metabolomics</i>, 9, 1254-1261, ISSN1573-3882.</p> <p>Kaniya, Y., Kizawa, A., Miyagi, A., Kawai-Yamada, M., Uchimiya, H., Kaneko, Y., Nishiyama, Y., Hihara, Y. (2013) Deletion of the transcriptional regulator cyAbrB2 de-regulates primary carbon metabolism in <i>Synechocystis</i> sp. PCC 6803. <i>Plant Phys.</i>, 162, 1153-1163, ISSN 0032-0889.</p> <p>Kim, S., Kim, H., Ko, D., Yamaoka, Y., Otsuru, M., Kawai-Yamada, M., Ishikawa, T., Oh, H.M., Nishida, I., Li-Beisson, Y., Lee, Y. (2013) Rapid induction of lipid droplets in <i>Chlamydomonas reinhardtii</i> and <i>Chlorella vulgaris</i> by Brefedelin A. <i>PLoS One</i>. 8, e81978. ISSN 1932-6203.</p> <p>Onda, Y., Miyagi, A., Uchimiya, H., Kawai-Yamada, M. (2014) NADK2 overexpression on primary metabolite profiles in rice leaves under elevated carbon dioxide, <i>Plant Biology</i>, Jan 7. doi: 10.1111/plb.12131, ISSN 1438-8677.</p> <p>Kakimoto, M., Ishikawa, T., Miyagi, A., Saito, K., Miyazaki, M., Asaeda, T., Yamaguchi, M., Uchimiya, H., Kawai-Yamada, M. (2014) Culture temperature affects gene expression and metabolic pathways in the 2-methylisoborneol- producing cyanobacterium <i>Pseudanabaena galeata</i> <i>Journal of Plant Physiology</i> 171, 292-300, ISSN 0176-1617.</p> <p>Kawai-Yamada, M., Nagano, M., Kakimoto, M., Uchimiya, H. (2014) Plastidic protein Cdf1 is essential in <i>Arabidopsis</i> embryogenesis. <i>Planta</i>, 239, 39-46, ISSN 0032-0935.</p> <p>Ishikawa, T., Imai, H., Kawai-Yamada, M. (2014) Development of an LC-MS/MS method for Analysis of free sphongoid bases using 4-fluoro- 7-nitrobenzofurazan (NSD-F). <i>Lipids</i> 49, 295-304, ISSN 0024-4201.</p>
--	--

	<p>(掲載済み一査読無し) 計0件</p> <p>(未掲載) 計2件</p> <p>Nagano*, N., Ishikawa*, T., Ogawa, Y., Iwabuchi, M., Nakasone, A, Shimamoto, K., Uchimiya, H., Kawai-Yamada, M. (2014) Arabidopsis Bax inhibitor-1 promotes sphingolipid synthesis during cold stress by interacting with ceramide-modifying enzymes. <i>Planta</i>, in press. * equally contribution, ISSN 0032-0935.</p> <p>Kawai, H., Ishikawa, T., Toshiaki, M., Kore-eda, S., Kawai, M., Ohnishi, J. (2014) Arabidopsis glycerol-3-phosphate permease 4 is localized in the plastids and involved in the accumulation of seed oil . <i>Plant Biotechnology</i>, accepted, ISSN 1467-7652.</p>
<p>会議発表 計61件</p>	<p>専門家向け 計47件</p> <p>Takahara, K., Onda, Y., Uchimiya, H., Kawai-Yamada, M., Metabolomic modification of rice chloroplastic NAD(P)(H) pathway, <i>Plant Transformation Technologies II</i>, Vienna, Austria, 2011.2.19-22 (ポスター発表)</p> <p>川合真紀、酸化ストレス応答としての植物細胞死の分子機構、第84回日本生化学会大会シンポジウム、京都、2011.9.21-24 (招待講演)</p> <p>長野稔、石川寿樹、内宮博文、川合真紀、植物のスフィンゴ脂質脂肪酸2-ヒドロキシラーゼの解析、第84回日本生化学会大会、京都、2011.9.21-24</p> <p>川合真紀、高原健太郎、恩田弥生、内宮博文、細胞内還元力プールの改変による植物バイオマス制御、植物細胞分子生物学会シンポジウム (招待講演)、福岡、2011.9.6-8</p> <p>石川寿樹、秋利彦、柳澤修一、長野稔、内宮博文、川合真紀、ショットガンプロテオミクスによる植物のストレス誘導性細胞死制御に関わる細胞膜マイクロドメインタンパク質の探索、プロテオーム学会サテライトシンポジウム、新潟、2011.7.30</p> <p>岩渕充、長野稔、石川寿樹、内宮博文、川合真紀、シロイヌナズナΔ^8-スフィンゴ脂質不飽和化酵素の低温応答における機能、日本植物学会、東京、2011.9.17-19</p> <p>石川寿樹、秋利彦、柳澤修一、長野稔、内宮博文、川合真紀、Bax Inhibitor-1の酸化ストレス耐性機構に関与する細胞膜マイクロドメインタンパク質の解析、日本植物学会、東京、2011.9.17-19</p> <p>Kawai-Yamada, M., Ishikawa, T., Nagano, M., Aki, T., Yanagisawa, S., Uchimiya, H., Proteome analysis to identify membrane microdomain proteins involved in regulation of stress-induced cell death, 3rd International Symposium on Frontiers in Agriculture Proteome Research, Tsukuba, 2011.11.8-10 (招待講演)</p> <p>Ishikawa, T., Uchimiya, H., Kawai-Yamada, M., Bax Inhibitor-1 modulates sphingolipid desaturation and oxidative stress tolerance in rice, The 4th Asian Symposium on Plant Lipids, Hong Kong, 2011.12-2-4 (ポスター発表)</p>

	<p>Iwabuchi, M., Nagano, M., Ishikawa, T., Yamaoka, Y., Nishida, I., Uchimiya, H., Kawai-Yamada, M., Molecular analysis of Arabidopsis Δ 8-sphingolipid desaturase under cold stress, The 4th Asian Symposium on Plant Lipids, Hong Kong, 2011.12-2-4 (ポスター発表)</p> <p>橋田慎之介、北崎一義、庄子和博、後藤文之、吉原利一、川合真紀、内宮博文、シロイヌナズナのNAD合成酵素 (NADS) の過剰発現はNAD代謝回転と老化を促進する、第53回日本植物生理学会年会、京都、2012. 3. 16-18</p> <p>石川寿樹、長野稔、内宮博文、川合真紀、イネ長鎖塩基 Δ4 不飽和化酵素 OsDES の機能解析、第 53 回日本植物生理学会年会、京都、2012. 3. 16-18</p> <p>Nagano, M., Ishikawa, T., Uchimiya, H., Kawai-Yamada, M. Molecular analysis of two sphingolipid fatty acid 2-hydroxylases in Arabidopsis Bax inhibitor-1 mediated oxidative stress tolerance. The 23rd International Conference on <i>Arabidopsis</i> Research (ICAR). Viena, Austria, 2012.7.3-7 (ポスター発表)</p> <p>Ishikawa T., Uchimiya, H., Kawai-Yamada, M. Regulation of oxidative stress-induced cell death via sphingolipid metabolism and remodeling of plasma membrane microdomain. 20th International Symposium on Plant Lipids, Sevilla, Spain, 2012.7.8-13 (ポスター発表)</p> <p>Nagano, M., Ishikawa, T., Kawai-Yamada, M., Shimamoto, K. Reduction of sphingolipid 2-hydroxy fatty acids has an impact on defense response through decrease of membrane rafts in rice. XV International Congress of Molecular Plant-Microbe Interactions, Kyoto, 2012.7.29-8.2 (ポスター発表)</p> <p>石川寿樹、内宮博文、川合真紀、イネの酸化ストレス誘導性細胞死における細胞膜マイクロドメインの役割とその制御、植物細胞分子生物学会、奈良、2012. 8. 5</p> <p>石川寿樹、内宮博文、川合真紀、イネのスフィンゴ脂質代謝と酸化ストレス耐性における長鎖塩基不飽和化酵素の役割、植物学会、姫路、2012. 9. 16</p> <p>Nagano, M., Ishikawa, T., Kawai-Yamada, M., Shimamoto, K. Membrane rafts formed by sphingolipid 2-hydroxy fatty acids are required for normal defense responses in rice. International Congress of Plant Molecular Biology. 済州島、韓国、2012.10.21-26</p> <p>川合真紀、植物ストレス誘導性細胞死研究の新展開、東京大学生物生産工学研究センター シンポジウム、東京、2012. 11. 5. (招待講演)</p> <p>北野沙也佳、川合真紀、宮城敦子、山口雅利、内宮博文、大野豊、長谷純宏、鳴海一成、ガンマ線照射が強害帰化雑草エゾノギシギシに及ぼす影響、高崎量子応用研究シンポジウム、高崎、2012. 10. 11 (ポスター発表)</p> <p>石川寿樹、内宮博文、川合真紀、スフィンゴ脂質代謝制御による Bax inhibitor-1 のストレス耐性機構、植物脂質シンポジウム、神戸、2012. 12. 1</p> <p>石川寿樹、内宮博文、川合真紀、イネスフィンゴ脂質分子種の LC-MS/MS 解析、植物脂質シンポジウム、神戸、2012. 12. 1 (ポスター発表)</p> <p>柿沼悠太、石川寿樹、長野稔、山口雅利、内宮博文、川合真紀、シロイヌナズナの脂肪酸伸長酵素の機能解析、植物脂質シンポジウム、神戸、2012. 12. 1 (ポスター発表)</p> <p>柿本真之、石川寿樹、宮城敦子、齊藤和晃、井上豊、川合真紀、カビ臭生成シアノバクテリアの遺伝子発現及び代謝解析、植物生理学会、岡山、2013. 3. 23 (ポ</p>
--	---

	<p>スター発表)</p> <p>石川寿樹、中曽根光、内宮博文、川合真紀、スフィンゴリピドミクスによるイネ超鎖塩基不飽和化機構の解析、植物生理学会年会、岡山、2013. 3. 21</p> <p>河合博光、石川寿樹、是枝晋、川合真紀、大西純一、シロイヌナズナのグリセロール3リン酸輸送体候補タンパク G3Pp4 は種子貯蔵脂質の蓄積に関与する、植物生理学会年会、岡山、2012. 3. 23</p> <p>刑部敬史、恩田弥生、姜振祥、平子理沙、内宮博文、川合真紀、シロイヌナズナ NADK2 過剰発現イネ植物体における生長特性、植物生理学会年会、岡山 2013. 3. 22 (ポスター発表)</p> <p>宮城敦子、川合真紀、内宮博文、高シュウ酸植物のバイオマス資源化とメタボローム解析、植物生理学会年会、岡山、2013. 3. 22</p> <p>中曽根光、石川寿樹、内宮博文、川合真紀、出芽酵母発現系を用いた植物スフィンゴ脂質 $\Delta 8$ 位不飽和化酵素 SLD の機能解析、植物生理学会年会、岡山、2013. 3. 21</p> <p>柿沼悠太、石川寿樹、長野稔、山口雅利、内宮博文、川合真紀、シロイヌナズナ AtELO1 の脂肪酸伸長への寄与及び機能解析、植物生理学会年会、岡山、2013. 3. 21</p> <p>Kawai-Yamada, M., Ishikawa, T., Nagann, M., Nakasone, A., Uchimiya, H. Functional association of cell death suppressor Arabidopsis Bax Inhibitor-1 with lipid metabolism. Oxidative stress and cell death in plants: mechanisms and implications. Plant Symposium of the SEB, Firenze, Italia, 2013.7.26-28 (ポスター発表)</p> <p>宮城敦子、内宮博文、川合真紀、シュウ酸合成阻害エゾノギシギシのメタボローム解析、第31回日本植物細胞分子生物学会、札幌、2013.9.10-12</p> <p>北野沙也佳、宮城敦子、大野豊、長谷純弘、鳴海一成、山口雅利、内宮博文、川合真紀、ガンマ線が高シュウ酸植物の代謝に及ぼす影響、第77回日本植物学会、札幌、2013.9.13-15</p> <p>石川寿樹、中曽根光、長野稔、内宮博文、川合真紀、シロイヌナズナの低温応答におけるスフィンゴ脂質代謝動態、第77回日本植物学会、札幌、2013.9.13-15、宮城敦子、内宮博文、川合真紀、Al^{3+}存在下における高シュウ酸植物エゾノギシギシのメタボローム解析、第77回日本植物学会、札幌、2013.9.13-15</p> <p>中曽根光、石川寿樹、内宮博文、川合真紀、出芽酵母発現系を用いたスフィンゴ脂質長鎖塩基 $\Delta 8$ 位不飽和化酵素のドメイン解析、第78回日本植物学会、札幌、2013.9.13-15</p> <p>柿沼悠太、石川寿樹、長野稔、山口雅利、内宮博文、川合真紀、蒸散制御におけるシロイヌナズナの脂肪酸伸長酵素 AtELO1 の機能解析、第78回日本植物学会、札幌、2013.9.13-15</p> <p>柿沼悠太、石川寿樹、長野稔、山口雅利、内宮博文、川合真紀、シロイヌナズナの脂肪酸伸長酵素の蒸散制御への寄与、第26回植物脂質シンポジウム、札幌、2013.9.15-16 (ポスター発表)</p> <p>長野稔、石川寿樹、藤原正幸、深尾陽一郎、川合真紀、島本功、スフィンゴ脂質 2-ヒドロキシ脂肪酸は膜ラフト形成を介してイネの耐病性を制御する、第26回植物脂質シンポジウム、札幌、2013.9.15-16 (ポスター発表)</p>
--	---

	<p>中曽根光、石川寿樹、内宮博文、川合真紀、$\Delta 8$ スフィンゴ脂質不飽和化酵素の酵素活性に関わる領域の検索、第26回植物脂質シンポジウム、札幌、2013.9.15-16 (ポスター発表)</p> <p>長野稔、中曽根光、内宮博文、川合真紀、シロイヌナズナの低温ストレス応答におけるスフィンゴリピドーム解析、第26回植物脂質シンポジウム、札幌、2013.9.15-16</p> <p>宮城敦子、内宮博文、川合真紀、植物におけるシュウ酸蓄積機構のメタボローム解析、第8回メタボロームシンポジウム、福岡、2013.10.3</p> <p>石川寿樹、内宮博文、川合真紀、植物スフィンゴ脂質分子種の迅速同定法および一斉定量解析法の開発、第8回メタボロームシンポジウム、福岡、2013.10.3</p> <p>Miyagi, A., Uchimiya, H., Kawai-Yamada, M., Metabolome analysis of soluble oxalate accumulation in <i>Rumex obtusifolius</i> L. (Polygonaceae). <i>Plant Gene Discovery & "Omics" Technologies</i>, Vienna, Austria, 2014.2.17-18 (ポスター発表)</p> <p>Kawai-Yamada, M., Sato, Y., Uchimiya, H. Metabolomic improvement of NAD(P)(H) biosynthesis in plants. <i>Plant Gene Discovery & "Omics" Technologies</i>, Vienna, Austria, 2014.2.17-18 (ポスター発表)</p> <p>石川寿樹、内宮博文、川合真紀、ストレス誘導性細胞死制御に関与する細胞膜マイクロドメインタンパク質、第55回日本植物生理学会、富山、2014.3.18-20</p> <p>長野稔、石川寿樹、藤原正幸、深尾陽一郎、川合真紀、島本功、膜ラフトはNADPH オキシダーゼの制御を介してイネ自然免疫機構に関与する、第55回日本植物生理学会、富山、2014.3.18-20</p> <p>一般向け 計14件 (国民との科学・技術対話と同一)</p> <p>川合真紀、埼玉学のすすめ part2 -世界がわかる、人間がわかる-第8回 環境問題にバイオテクノロジーで迫る-身近になった遺伝子組換え技術- (主催：埼玉大学、読売新聞埼玉支局)、埼玉大学、2011.7.16</p> <p>川合真紀、DNA解析による植物の特定、高校生環境学習講座 (主催：埼玉県総合教育センター)、埼玉大学、2011.7.27</p> <p>川合真紀、植物バイオの世界、(主催：浦和西高校、JSTサイエンスパートナーシッププログラム)、浦和西高等学校/埼玉大学、2011.8.23-25</p> <p>川合真紀、植物バイオの世界、(主催：春日部高校、スーパーサイエンスハイスクールプログラム)、埼玉大学、2011.10.28</p> <p>川合真紀、環境問題にバイオテクノロジーで迫る、戸田市民大学 (主催：戸田私立教育センター)、戸田市民センター、2011.12.9</p> <p>川合真紀、探検-植物の体、さいたま市キッズユニバーシティ事業 (主催：さいたま市、埼玉大学)、埼玉大学、2011.12.27</p> <p>川合真紀、環境問題とバイオテクノロジー、いきがい大学講座 (主催：彩の国いきがい大学大宮連絡協議会)、与野本町コミュニティーセンター、2012.2.9</p> <p>川合真紀、荒川河川敷における外来種の影響～DNA解析による植物の特定をとおして～、高校生環境学習講座 (主催：埼玉県総合教育センター)、埼玉大学、2012.7.31</p> <p>川合真紀、大学で植物を科学する、サイエンスカフェ (主催：埼玉大学)、埼玉大学、2012.11.10</p>
--	---

	<p>川合真紀、植物バイオテクノロジーの世界、科学者の芽養成プログラム、ステップ2 土曜ジュニアセミナー（主催：埼玉大学）、埼玉大学、2012. 11. 10</p> <p>川合真紀、遺伝子組換え植物をさがそう（主催：熊谷女子高校スーパーサイエンスハイスクールプログラム）、熊谷女子高校、2012. 12. 21、25</p> <p>川合真紀、荒川河川敷における外来種の影響～DNA解析による植物の特定をとおして～、高校生環境学習講座（主催：埼玉県総合教育センター）、埼玉大学、2013. 7. 28-29</p> <p>川合真紀、遺伝子からひも解く植物の不思議、科学者の芽養成プログラム ステップ2 土曜ジュニアセミナー（主催：埼玉大学）、埼玉大学、2013. 9. 7</p> <p>川合真紀、植物の力（主催：埼玉大学）、埼玉大学、2013. 11. 2</p>
<p>図書</p> <p>計2件</p>	<p>宮城敦子、川合真紀、内宮博文、雑草のメタボローム研究（1）-タデ科植物種間比較研究-農業および園芸、養賢堂、第86巻、第10号、p1062-1066. 2011.</p> <p>宮城敦子、川合真紀、内宮博文、雑草のメタボローム研究（2）-環境ストレス耐性とバイオマスエネルギー素材- 農業および園芸、養賢堂、第86巻、第11号、p1153-1159、2011.</p>
<p>産業財産権 出願・取得状況</p> <p>計1件</p>	<p>（取得済み）計0件</p> <p>（出願中）計1件</p> <p>特願 2013-023290、植物に含有されるシュウ酸量を低減させる方法、川合真紀、北野沙也佳、宮城敦子、大野豊、長谷澄宏、鳴海一成、国内、2013年2月8日出願</p>
<p>Webページ (URL)</p>	
<p>国民との科学・技術対話の実施状況</p>	<p>埼玉学のすすめ part2 -世界がわかる、人間がわかる-第8回 環境問題にバイオテクノロジーで迫る-身近になった遺伝子組換え技術-、埼玉大学、2011. 7. 16、高校生23名、埼玉県内の高校生を対象として植物バイオテクノロジーの技術紹介と植物遺伝子に関する体験実験を行った。</p> <p>DNA解析による植物の特定、高校生環境学習講座、埼玉大学、2011. 7. 27、一般、約300名、公開市民講座において講演を行い、遺伝子組換え技術の解説を行った。</p> <p>植物バイオの世界、浦和西高等学校/埼玉大学、2011. 8. 23-25、高校生、15名、JSTのサイエンスパートナーシップの一環として、浦和西高校生を対象として環境問題とバイオテクノロジーに対する講演と、大学研究室体験として植物の代謝物解析などの体験実習を行った。</p> <p>植物バイオの世界、埼玉大学、2011. 10. 28、春日部高校生20名、春日部高校のスーパーサイエンスハイスクールプログラムに協力する形で、研究室見学会と研究発表会を行った。</p> <p>環境問題にバイオテクノロジーで迫る、戸田市民センター、2011. 12. 9、市民約150名、市民講座で講演を行い、社会の中で利用されつつあるバイオテクノロジー</p>

	<p>ジーの技術について解説を行った。</p> <p>探検-植物の体、埼玉大学、2011. 12. 27、小学生と父兄 100 名、植物の観察会と葉脈標本作りを主催し、植物研究を身近に感じてもらうよう体験会を行った。</p> <p>環境問題とバイオテクノロジー、与野本町コミュニティーセンター、2012. 2. 9、戸田市民約 150 名を対象とした講座で、作物の品種改良の方法や手法について講演を行った</p> <p>荒川河川敷における外来種の影響～DNA 解析による植物の特定をとおして～、埼玉大学、2012. 7. 31、高校生 18 名、埼玉県内の高校生を対象として植物バイオテクノロジーの技術紹介と植物遺伝子に関する体験実験をおこなった。</p> <p>大学で植物を科学する、埼玉大学、2012. 11. 10、中高生 15 名、中高生を対象としたサイエンスカフェに参加し、研究生活研究内容の紹介をおこなった。</p> <p>植物バイオテクノロジーの世界、埼玉大学、2012. 11. 10、中高生約 50 名。埼玉県内の中学生、高校生を対象に研究紹介をおこなった。</p> <p>遺伝子組換え植物をさがそう、熊谷女子高校、2012. 12. 21 & 25 熊谷女子高校生 20 名、スーパーサイエンスハイスクールプログラムに協力する形で、研究室見学会と模擬実験「遺伝子組換え植物をさがそう」をおこなった。</p> <p>荒川河川敷における外来種の影響～DNA 解析による植物の特定をとおして～、埼玉大学、2013. 7. 28-29、高校生 15 名、埼玉県内の高校生を対象として植物バイオテクノロジーの技術紹介と植物遺伝子に関する体験実験をおこなった。</p> <p>遺伝子からひも解く植物の不思議、埼玉大学、2013. 9. 7、小中学生と父兄約 50 名、近年のバイオテクノロジーの進歩についての講演をおこなった。</p> <p>植物の力、埼玉大学、2013. 11. 2、一般約 100 名、植物バイオマスや細胞壁の成り立ちや改変技術についての解説と、葉脈標本作りの指導をおこなった。</p>
<p>新聞・一般雑誌等掲載計 3 件</p>	<p>読売新聞 2011. 7. 9 掲載；埼玉学のすすめ part2 -世界がわかる、人間がわかる-第 8 回 環境問題にバイオテクノロジーで迫る-身近になった遺伝子組換え技術-</p> <p>読売新聞 2011. 7. 26 掲載；埼玉大・読売講座・詳報「広がる遺伝子組み換え」</p> <p>埼玉新聞 2013. 6. 5 掲載；サイ・テクこらむ 「植物の能力を有効利用」</p>
<p>その他</p>	

7. その他特記事項

- さいたま市環境影響評価技術審議会委員
- 生物多様性影響評価検討会・拡散防止措置確認会議委員
- 埼玉県地球温暖化対策の検討に関する専門委員会委員